RAPPORT D'AVANCEMENT

Projet PACTES

Module : cartographie du risque potentiel de mouvements de terrain

Etude réalisée dans le cadre des opérations de Service public du BRGM 2001-RPI-102

novembre 2001
BRGM/RP-51327-FR

BRGM

RAPPORT D'AVANCEMENT

Projet PACTES

Module : cartographie du risque potentiel de mouvements de terrain

Etude réalisée dans le cadre des opérations de Service public du BRGM 2001-RPI-102

M. Vincent et N. Zornette

novembre 2001
BRGM/RP-51327-FR

BRGM

Mots clés :

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :
M. Vincent et N. Zornette (2001) - Projet PACTES –Module cartographie du risque potentiel de mouvements de terrain. BRGM/RP-51327-FR, 44 p., 24 fig,.

© BRGM, 2001, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Le module « mouvements de terrain » du projet PACTES a pour objectif de définir une méthodologie et des outils, faisant notamment appel aux techniques d'observation spatiale, en vue d'identifier et de cartographier les risques potentiels de mouvements de terrain, à travers le cas spécifique du bassin versant de l'Hérault. Le présent rapport fait le point sur l'état d'avancement de ce travail à la date de novembre 2001.

Pour effectuer la cartographie de l'aléa mouvements de terrain, l'approche expertise a été préconisée au regard de la taille des phénomènes. Dans un premier temps, il a été procédé à un inventaire, aussi exhaustif que possible, des mouvements de terrains déjà survenus dans le bassin de l'Hérault, lequel couvre une superficie totale de 2 600 km^2. Cet inventaire a été réalisé à partir de données bibliographiques et d'enquêtes auprès des communes et de différents services techniques, dont principalement le Laboratoire Départemental de l'Equipement. Toutes les données recueillies ont été systématiquement validées et complétées par des visites de terrain qui ont permis de localiser précisément et de caractériser les évènements recensés.

Au total, 126 mouvements de terrain ont ainsi été inventoriés et, pour la plupart, datés. Cette liste d'évènements, bien que nécessairement non exhaustive, peut être considérée comme représentative des phénomènes de mouvements de terrain susceptibles de se produire dans le bassin.

Dans une deuxième étape, il a été réalisée, à partir des évènements historiques recensés, une typologie des phénomènes. Sept types de phénomènes ont été distingués : chute de blocs, éboulement rocheux, érosion de berge, effondrement, glissement, coulée de boue et glissement/éboulement. Pour chacun de ces types de mouvement ont été identifiés, au vu des observations effectuées, les facteurs de prédisposition et de déclenchement qui déterminent leur occurrence.

En définitive, il a été proposé la délimitation d'une zone test, située au sud de Ganges et couvrant une superficie de 240 km^2. Ce secteur a été choisi pour la forte densité de mouvements de terrain déjà recensés (43 au total, soit un tiers des évènements recensés et ceci sur moins de 10 % de la surface du bassin) et pour le caractère particulièrement exposé du réseau routier, en particulier dans les gorges de la Vis et de l'Hérault.

Il reste désormais à procéder à la cartographie de l'aléa mouvements de terrain sur l'ensemble de cette zone test. Pour cela, des données complémentaires seront recueillies par enquêtes orales auprès des communes et services techniques opérant dans le secteur, et surtout par observation directe, en particulier le long du réseau routier. La carte d'aléa sera établie, en tenant compte des éléments d'expertises ainsi acquises, par combinaison de données géologiques (issues des cartes géologiques à l'échelle 1/50 000, qui seront digitalisées et ré-interprétées), topographiques (provenant de l'analyse du MNT au pas de 25 m) et morphologiques (à partir de l'interprétation de photographies aériennes ou d'images satellites haute résolution). Un examen particulier des aléas le long d'un tronçon de la RD 25, jugée particulièrement exposée, sera aussi réalisé.

Sommaire

1. Contexte et objectif 7
2. Cadre géographique et géologique 8
2.1. Cadre géographique 8
2.2. Cadre géologique 8
2.2.1. Terrains paléozoïques et cristallins 8
2.2.2. Terrains calcaires 8
2.2.3. Faille des Cévennes 10
3. Démarche méthodologique 11
3.1. Objectifs 11
3.2. Différentes approches de la cartographie 11
3.2.1. L'expertise 11
3.2.2. Analyse en retour par reconnaissance de formes 11
3.2.3. Analyses mécaniques 12
3.3. Procédure envisagée 12
4. Données exploitées 14
4.1. Déclarations de l'etat de catastrophe naturelle 14
4.2. Archives du Laboratoire Départemental de l'Equipement 16
4.3. Archives du BRGM 16
4.4. Autres sources d'information 17
4.5. Visites de terrain 19
4.6. Evènements recensés 19
5. Analyse critique des données sur les mouvements de terrain 22
5.1. Typologie des mouvements enregistrés 22
5.1.1. Chute de blocs 22
5.1.2. Eboulement rocheux 24
5.1.3. Erosion de berge / Eboulement 26
5.1.4. Effondrement 27
5.1.5. Glissement 28
5.1.6. Glissement / Coulée de boue 32
5.1.7. Glissement / Eboulement 35
5.2. Identification des facteurs de causalité 38
5.2.1. Facteurs de déclenchement des mouvements de terrain 38
5.2.2. Facteurs de prédisposition aux mouvements de terrain 38
6. Propositions pour la suite de l'étude 41

6.1. Démarche proposée 41
6.2. Choix de la zone test 41
Conclusion **44**

Liste des illustrations

FIGURES

Fig. 1 - Plan de situation géographique du bassin versant de l'Hérault et des sous-bassins hydrographiques 9
Fig. 2 - Schéma géologique structural de la zone d'étude, à l'échelle 1/1 000 000, ... 10
Fig. 3 - Localisation des communes du bassin versant de l'Hérault ayant fait l'objet d'un arrêté de catastrophe naturelle à la date du 1er janvier 2001 15
Fig. 4 - Carte de localisation des mouvements de terrain recensés dans le bassin versant de l'Hérault 18
Fig. 5 - Nombre de mouvements de terrain recensés chaque année dans le bassin versant de l'Hérault depuis 1972 21
Fig. 6 – Schéma de principe du phénomène de chute de blocs 22
Fig. 7 – Aspect d'un affleurement rocheux présentant des menaces de chutes de blocs, le long de la RD 902 (commune des Plans) 23
Fig. 8 – Schéma de principe du phénomène d'éboulement rocheux 24
Fig. 9 – Vestiges d'un éboulement rocheux survenu au début du vingtième siècle, le long de l'ancien tracé de la RN 9, en contrebas du Pas de l'Escalette (commune de Pégairoles-de-l'Escalette) 26
Fig. 10 – Schéma de principe du phénomène d'érosion de berge 26
Fig. 11 – Schéma de principe du phénomène d'effondrement 28
Fig. 12 – Schéma de principe du phénomène de glissement (vue en plan et en coupe). 28
Fig. 13– Glissement de terrain (partiellement conforté par enrochements) en bordure de la RD 108 (commune de Saint-Bauzille-de-Putois) 29
Fig. 14 – Glissement plan dans les pélites et argilites rouges d'âge Saxonien, le long d'un plan de stratification (commune de Mérifons) 30
Fig. 15 – Amorce de glissement en tête d'une ancienne carrière de grèze, le long de la RD 9 (commune d'Arboras) 31
Fig. 16 - Fissuration de la chaussée sur l'ancien tracé de la RN 9, en contrebas du Pas de l'Escalette (commune de Pégairolles-de-l'Escalette), à la suite d'un glissement réactivé en 1984 32
Fig. 17 – Schéma de principe du phénomène de coulée de boue 33
Fig. 18 – Niche d'arrachement en amont d'une coulée de boue (commune de Rogues) 33
Fig. 19 – Zone de propagation en aval d'une coulée de boue (commune de Rogues) ... 34
Fig. 20 – Schéma de principe du phénomène de glissement / éboulement 35
Fig. 21 - Glissement / éboulement le long de la route de l'Escoutet à Beauquiniès (commune de Gorniès) 36

Fig. 22 – Glissement / éboulement au dessus du hameau de Madière (commune de Saint-Maurice-Navacelles), après confortement 37
Fig. 23 – Pente des versants aux abords immédiats du réseau routier dans la région de Ganges (calculée à partir du MNT au pas de 50 m) 40
Fig. 24 – Proposition de délimitation de la zone test pour la cartographie d'aléa mouvements de terrain 42

1. Contexte et objectif

Le module « mouvements de terrain » du projet PACTES (Prévention et Anticipation des Crues au moyen des TEchniques Spatiales) a pour objectif de définir une méthodologie et des outils, faisant notamment appel aux techniques d'observation spatiale, en vue d'identifier et de cartographier les risques potentiels de mouvements de terrain, à travers le cas spécifique du bassin versant de l'Hérault.

Ce volet s'inscrit dans le cadre plus large d'une étude visant à améliorer la prise en compte du risque inondation, tant au stade de la prévention du risque qu'à celui de l'organisation des secours en cas de crise. En effet, dans le contexte de vallées encaissées, caractérisées par des versants abrupts et un réseau routier exposé, les phénomènes de mouvements de terrain, souvent eux-mêmes déclenchés par des épisodes de forte pluviosité et donc concomitants des périodes de crues, constituent fréquemment un facteur aggravant qui ralentit la progression des secours et l'évacuation des sinistrés. Un simple éboulement de faible ampleur suffit en effet à rendre momentanément impraticable une route et peut, dans ce contexte de vallées encaissées, rendre impossible l'accès par voie terrestre à certaines communes.

L'objectif visé par le module « mouvements de terrain » du projet PACTES, consiste à élaborer une méthode de travail permettant, grâce aux outils et informations actuellement disponibles, ou à travers le développement de nouvelles techniques et l'acquisition de données, de quantifier et cartographier l'aléa mouvement de terrain dans tout ou partie du bassin versant de l'Hérault, en vue de faciliter sa prise en compte dans un cadre de prévention du risque inondation.

2. Cadre géographique et géologique

2.1. CADRE GEOGRAPHIQUE

Le bassin versant de l'Hérault s'étend selon une direction principale nord-sud, sur une longueur d'une centaine de km. Sa superficie est de l'ordre de 2 600 km^2. La majeure partie du bassin se situe dans le département de l'Hérault (fig. 1) et concerne, en totalité ou en partie, 135 communes du département. La partie amont du bassin (au nord) se trouve dans le Gard et recoupe 29 communes de ce département. Deux communes de l'Aveyron sont également partiellement incluses dans le bassin versant de l'Hérault.

2.2. CADRE GEOLOGIQUE

Ce bassin constitue une entité géologiquement complexe formée d'ensembles bien distincts (fig. 2). La grande dislocation appelée faille des Cévennes partage le territoire en deux grandes régions naturelles : au Nord-Ouest la terminaison méridionale des Cévennes qui disparaissent immédiatement à l'Ouest sous la couverture mésozoïque des Causses ; au Sud-Est le domaine des garrigues. Ces deux régions s'opposent autant par leur constitution géologique, terrains anciens cristallins ou métamorphiques au Nord-Ouest, terrains récents à dominante calcaires au Sud-Est, que par leur morphologie et les caractéristiques du drainage.

2.2.1. Terrains paléozoïques et cristallins

La terminaison Sud-Ouest des Cévennes est haute en relief, constituée par des schistes épimétamorphiques accompagnés de quartzites d'âges incertains dans le versant aquitain, mais aussi de calcaires et de dolomies cambriens dans le versant méditerranéen. L'ensemble est traversé par des filons de quartz et de microgranite, puis surtout par le gros massif de granite du Saint-Guiral au nord du bassin de l'Hérault. Ce massif intrusif est constitué essentiellement d'un granite calco-alcalin monzonitique à la limite des granodiorites, roche de couleur gris bleuté. On retrouve des terrains du même type plus au sud, en limite ouest du bassin, dans les alentours de Lodève.

2.2.2. Terrains calcaires

Les Causses, couverture mésozoïque, se trouvent resserrées entre les massifs anciens des Cévennes au Nord-Est et de la Montagne Noire au Sud-Est. En particulier, le plateau du Larzac, partie sud du Causse, d'altitude moyenne de 700 à 800 m, est parsemé de reliefs résiduels et de dépressions comblées de sédiments d'âges divers. Il est établi sur les calcaires et dolomies du Jurassique moyen et supérieur. Les Causses sont un domaine voué, depuis le Tertiaire, à l'érosion et à une évolution de type karstique. Le drainage est essentiellement souterrain et alimente toute une série d'exurgence qui gagnent pour la plupart le bassin méditerranéen.

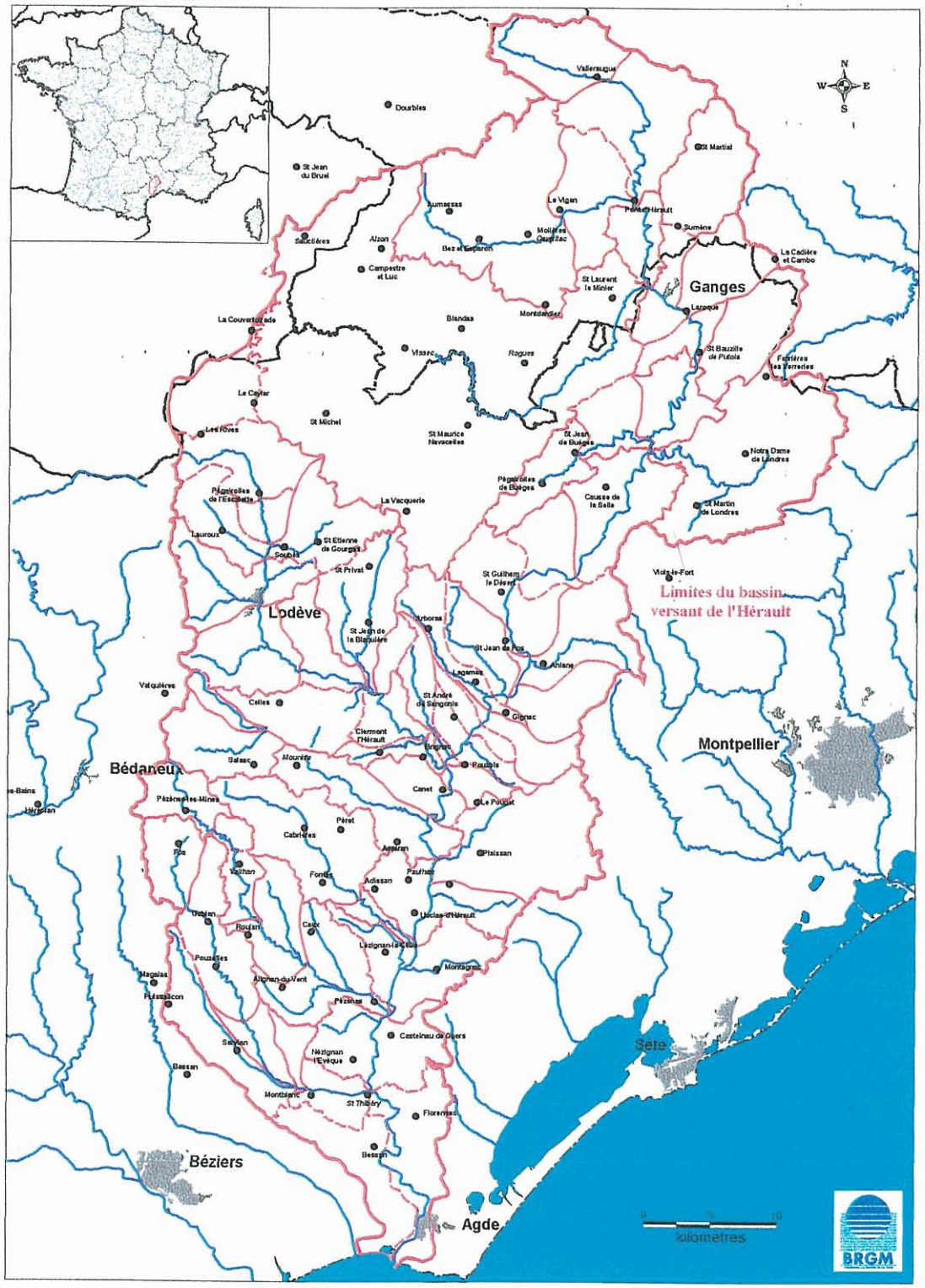

Fig. 1 - Plan de situation géographique du bassin versant de l'Hérault et des sous-bassins hydrographiques

Séparée des Causses par la faille des Cévennes, la zone des garrigues est plissée ou tabulaire. Plus récents que les Causses, l'âge des calcaires constituant cette entité est compris entre le Jurassique supérieur et le Crétacé inférieur. Ce secteur correspond à l'avant-pays du chevauchement du pli de Montpellier. Des recouvrements tertiaires affleurent de manière prédominante dans la partie avale du bassin.

2.2.3. Faille des Cévennes

La faille des Cévennes correspond en fait à un faisceau de failles de direction NE-SW qui affecte la série sédimentaire du Jurassique et la découpe en compartiments selon une tectonique particulièrement complexe. La mobilité de ce faisceau de failles a pu être prouvée tout au long du Trias et du Jurassique. La faille des Cévennes joue en distension et a fonctionné en décrochement sénestre lors de la phase pyréenne.

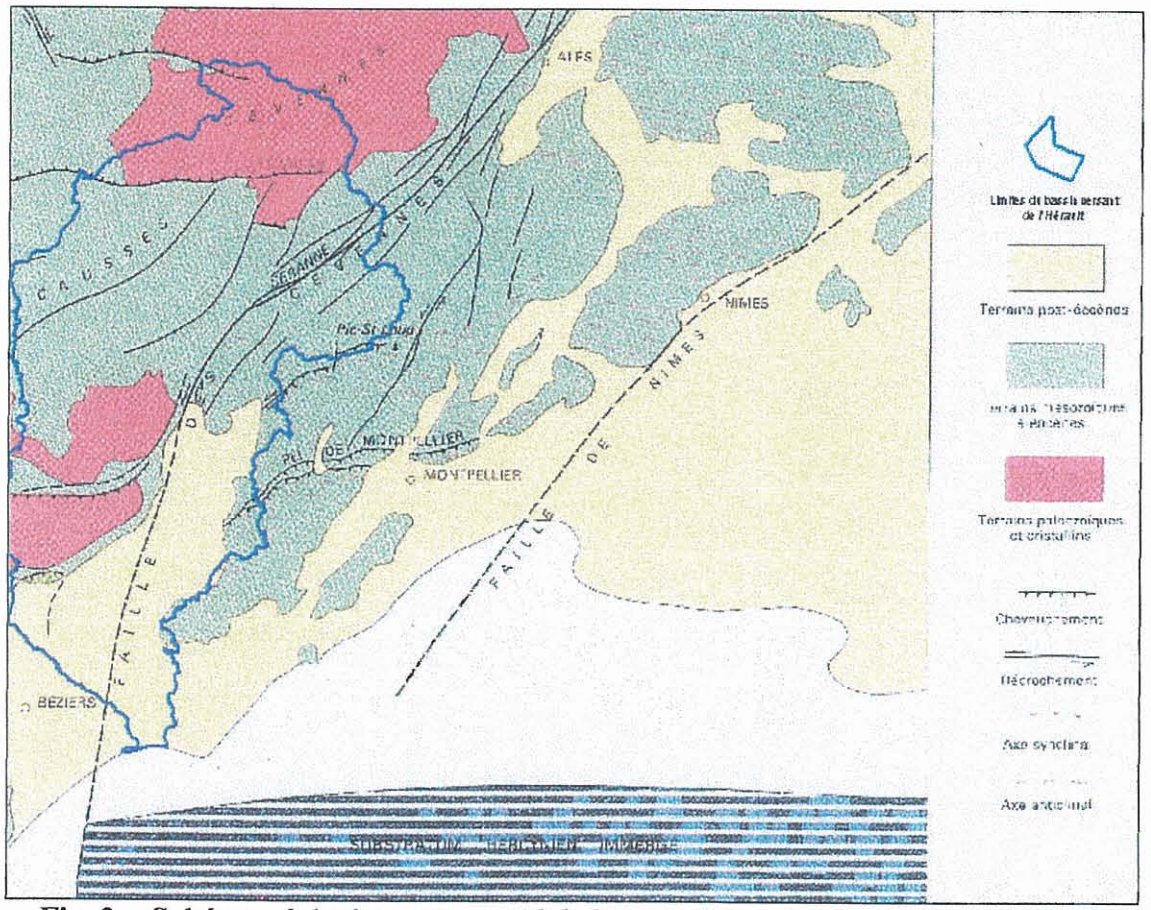

Fig. 2 - Schéma géologique structural de la zone d'étude, à l'échelle 1/1 000 000, d'après la carte géologique Saint Martin-de-Londres (Arthaud, 1977)

3. Démarche méthodologique

3.1. OBJECTIFS

Pour faire face à la demande sociale de plus en plus forte en termes de protection vis-à-vis des catastrophes naturelles, la cartographie du risque, et donc de l'aléa, représente un outil fondamental d'aide à la décision. Cependant, il n'existe pas de mode d'emploi « presse-bouton », une recette qui permettrait de réaliser à bon compte une carte de l'aléa mouvements de terrain. En effet, les phénomènes d'instabilité de pente sont trop complexes et encore trop mal appréhendés en ce qui concerne la composante temporelle pour prétendre à la définition d'un mode d'emploi.

Différentes approches existent pourtant. Mais la cartographie des mouvements de terrain reste avant tout un problème d'expertise qui a recours de plus en plus à des outils spécifiques. L'objectif visé par le module « mouvements de terrain » du projet PACTES, consiste à élaborer une méthode de travail permettant, grâce aux outils d'observations spatiales ou à travers le développement de telles techniques, de quantifier et cartographier l'aléa mouvements de terrain dans tout ou partie du bassin versant de l'Hérault.

3.2. DIFFERENTES APPROCHES DE LA CARTOGRAPHIE[1]

3.2.1. L'expertise

Cette méthode est la plus utilisée. Elle repose sur l'expérience de l'expert qui se base sur des critères se rapportant aux mécanismes de rupture ou d'évolution des mouvements de terrain. Le procédé est ainsi subjectif mais il permet un va et vient incessant entre l'approche globale et la description détaillée de l'affleurement. De plus, il est possible d'adapter et de moduler à souhait la méthode en fonction du contexte.

3.2.2. Analyse en retour par reconnaissance de formes

L'analyse statistique a vu le jour pour palier la subjectivité de la méthode précédente. Les choix des critères de prédisposition et des règles de combinaison résultent non de l'expérience mais de faits tangibles. L'analyse en retour permet aussi de définir une échelle de hiérarchisation des facteurs de causalité. Le problème de cette méthode est qu'elle requiert une quantité importante de données fiables. Les bases de données doivent être par conséquent nationales. De telles bases de données existent mais elles ne sont pas encore assez complètes pour envisager de réaliser des traitements statistiques, tels que l'analyse en composantes principales ou l'analyse factorielles des correspondances.

[1] E. Leroi (1996). Cartographie du risque mouvements de terrain à différentes échelles – Objectifs, outils et développements. 7th International Symposium on Landslides, Trondheim, Norway.

3.2.3. Analyses mécaniques

Les analyses mécaniques sont généralement utilisées pour l'évaluation de l'aléa glissements de terrain pour lequel on dispose de modèles de stabilité (ceux utilisés classiquement en géotechnique pour des études ponctuelles d'instabilités). Compte tenu de la variabilité spatiale des paramètres susceptibles d'intervenir, les lois de comportement sont inaccessibles pour la plupart des mouvements de terrain et même les glissements dès que la géométrie devient trop complexe. L'utilisation de cette méthode déterministe est donc limitée à des évènements simples.

3.3. PROCEDURE ENVISAGEE

Les premières constatations effectuées montrent que la plupart des phénomènes identifiés sont d'ampleur très locale. Une poche de grèze ou d'éboulis, de quelques dizaines de m^3, placée dans des conditions défavorables (par exemple recouvrant des formations argileuses en situation d'aval pendage et situé dans le talus amont, en bordure immédiate d'une route) présente un aléa mouvement de terrain très élevé et peut suffire à rendre une route momentanément impraticable. Or l'extension spatiale de cette formation sera vraisemblablement trop faible pour qu'elle soit signalée sur la carte géologique. De même, un bloc rocheux de quelques m^3 surplombant une route d'une hauteur de 3 à 4 m peut suffire à bloquer la circulation s'il se détache et tombe sur la chaussée. Or seul un examen visuel permettra de détecter un tel risque. L'exploitation du MNT, même au pas de 25 m, ne suffit pas à identifier un affleurement de moins de 10 m de hauteur. Quant au degré de fracturation de l'affleurement rocheux, il paraît illusoire de le caractériser par des techniques d'observation spatiale.

Dans ces conditions, il est proposé de procéder en quatre temps suivant une démarche d'expertise. Les chapitres suivants expliqueront plus précisément la démarche suivie.

Dans une première phase, il convient d'effectuer le recensement des phénomènes déjà constatés dans le bassin, et ceci afin de préciser la nature et la localisation potentielle des mouvements de terrain dans le secteur étudié. Cette première étape s'appuie sur des données déjà disponibles, aussi bien dans la bibliographie et les bases de données nationales que dans certains services spécialisés dont le Laboratoire Départemental de l'Equipement de l'Hérault. Mais ces données sont généralement partielles, rarement géoréférencées, et disponibles de manière éparse, ce qui suppose un complément d'enquête sur le terrain et des enquêtes locales auprès des communes pour valider l'information et la compléter.

Après cet inventaire des mouvements de terrain déjà survenus dans le bassin versant de l'Hérault, la deuxième étape consiste à analyser et critiquer les données recueillies. Cet examen a pour objectif de vérifier que les données recueillies sont représentatives à l'échelle du bassin, d'établir la typologie des phénomènes susceptibles de se produire, et surtout d'identifier les configurations (lithologie, géométrie, fracturation, pente, etc.) qui sont favorables au déclenchement de tels phénomènes.

Dans une troisième étape, et au vu des informations précédemment recueillies, il est proposé de procéder à une cartographie de l'aléa mouvement de terrain sur une zone test (d'une superficie d'environ 250 km^2), choisie pour sa représentativité (avec une grande variabilité de faciès lithologiques et si possible la plupart des types de mouvements de terrain identifiés). Pour ce secteur, la connaissance des évènements déjà survenus sera complétée à partir d'observations de terrain et des enquêtes orales auprès des communes et autres interlocuteurs techniques concernés (subdivisions de l'Equipement en particulier).

Pour chacun des types d'aléas recensés, il conviendra d'identifier les facteurs qui déterminent la prédisposition aux phénomènes, puis de cartographier des zones de susceptibilité homogène à partir de la prise en compte de ces facteurs de prédisposition, par combinaison numérique de données lithologiques (issues de l'interprétation des cartes géologiques), topographiques (provenant du Modèle Numérique de Terrain ou MNT) et morphologiques (à partir de l'interprétation de photos aériennes ou d'images satellite haute résolution).

Les zones de propagation potentielle de ces phénomènes (coulées de boue, glissement de terrain, chutes de blocs) seront évaluées à partir d'une approche de type expertise, calée sur l'observation d'évènements historiques et éventuellement précisée par l'utilisation de modèles de simulation numérique. A ce stade, des vérifications ponctuelles sur le terrain pour validation et/ou vérification des résultats de cette cartographie d'aléa seront nécessaires.

La dernière étape de ce travail consistera en l'étude d'un tronçon de voie routière particulièrement exposée, située dans la zone test précédemment retenue. Un examen détaillé des talus amont et aval de cette route sera réalisé afin de localiser les zones les plus sensibles vis à vis d'éventuels mouvements de terrain et de proposer des actions de prévention et/ou de confortement pour pallier de tels évènements. Les zones couvertes par cet examen seront constituées des talus routiers proches et des versants susceptibles d'être le siège de mouvements dont la propagation pourrait menacer directement la route en contrebas.

4. Données exploitées

4.1. DECLARATIONS DE L'ETAT DE CATASTROPHE NATURELLE

Le recensement des communes ayant fait l'objet d'une reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle (fig. 3) a été effectué pour l'ensemble des communes situées, au moins partiellement dans le bassin versant de l'Hérault, soit 166 communes au total (dont 135 dans le département de l'Hérault, 29 dans celui du Gard et 2 dans l'Aveyron).

Les arrêtés de catastrophe naturelle pris jusqu'en janvier 2001 et concernant les communes du bassin versant ont été recensés à partir d'informations fournies par le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement sur le site internet http://www.prim.net. Trois types de phénomènes seulement ont été pris en compte pour ce recensement : les inondations, les inondations accompagnées de glissements ou de coulées de boues, et les glissements ou affaissements de terrain (autres que ceux liés au phénomène de retrait-gonflement des sols argileux). Selon ces informations, 109 communes du bassin versant (dont 97 dans le seul département de l'Hérault) ont fait l'objet d'au moins un arrêté de catastrophe naturelle pour l'un de ces trois phénomènes, entre 1983 et 2000.

Ces communes sont réparties de manière relativement homogène sur l'ensemble du bassin versant (fig. 3). Les communes qui n'ont jamais été concernées par ce type de procédure se situent principalement dans les parties amont du bassin versant, ce qui correspond à une logique physique.

Les trois-quart de ces arrêtés (85 au total, dont 75 dans le département de l'Hérault) concernent des inondations, les autres étant consécutifs à des inondations accompagnées de glissements ou de coulées de boue. Seules sept communes ont fait l'objet d'arrêtés concernant spécifiquement des mouvements de terrain autres que des mouvements différentiels de sols liés au retrait-gonflement. Une de ces communes se situe dans le Gard : il s'agit de Bez-et-Esparron qui a fait l'objet d'un arrêté concernant des éboulements, glissements et affaissements de terrain pour la période du 20 au 28 janvier 1996. Les autres sont dans le département de l'Hérault : il s'agit de Ceyras (glissement de terrain pour la période du 28 au 30 janvier 1998), Gorniès (éboulement, glissement et affaissement de terrain pour la période du 5 au 24 janvier 1996), Les Plans (deux arrêtés glissement de terrain respectivement pour la période du 1er au 31 janvier 1996 et pour le 5 novembre 1997 ; un arrêté coulée de boue pour la journée du 18 décembre 1997), Olmet-et-Villecun (glissement de terrain entre le 28 janvier et le 3 février 1996), Saint-Maurice-Navacelles (glissements de terrain et éboulements rocheux entre le 18 et le 19 janvier 1997) et Soubès (glissement de terrain entre le 1er décembre 1995 et le 31 janvier 1996). Parmi ces communes, il est à noter que seules Ceyras et Saint-Maurice-Navacelles n'ont pas fait l'objet, à ce jour, d'arrêtés de catastrophe naturelle pour des inondations. Ceci illustre bien à quel point le phénomène inondation est prépondérant, dans le bassin versant de l'Hérault, par rapport aux mouvements de terrain.

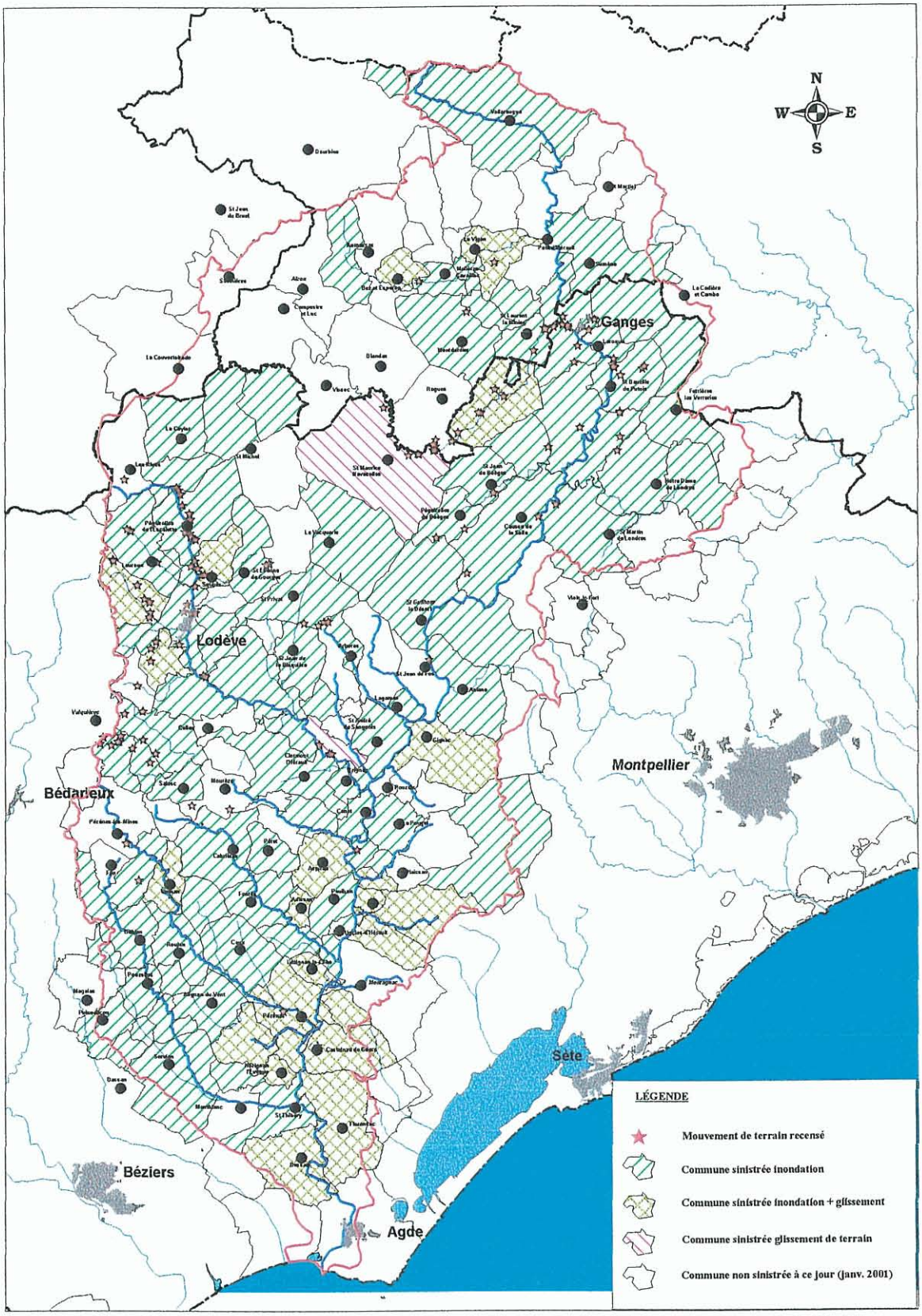

Fig. 3 - Localisation des communes du bassin versant de l'Hérault ayant fait l'objet d'un arrêté de catastrophe naturelle à la date du 1er janvier 2001

Quoi qu'il en soit, ces arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle n'apportent que des indications fragmentaires sur la localisation des phénomènes et ne donnent aucune information précise sur la nature des phénomènes concernés. Il faut pour cela impérativement se reporter au dossier géotechnique constitué à l'occasion de ces procédures (dossier souvent très sommaire techniquement) ou procéder par enquête auprès des acteurs concernés (communes et subdivisions DDE pour l'essentiel).

4.2. ARCHIVES DU LABORATOIRE DEPARTEMENTAL DE L'EQUIPEMENT

Le Laboratoire Départemental de l'Equipement (LDE) a effectué un certain nombre d'expertises de mouvements de terrain dans le bassin de l'Hérault. Son responsable, Jean-Claude Gilly, a fait réaliser, au cours de l'année 2000, une synthèse des données disponibles pour l'ensemble du département. Ce travail, réalisé en collaboration avec le Conseil Général de l'Hérault, a été communiqué au BRGM par la Préfecture de l'Hérault. Pour la zone située dans le bassin versant de l'Hérault, 45 phénomènes, répartis dans 25 communes, sont recensés sous forme d'un tableau synthétique. Cette synthèse est malheureusement incomplète, peu fiable (plusieurs doublons et nombreuses erreurs y compris sur le nom des communes concernées) et non géoréférencée.

Le laboratoire a procédé, au cours de l'année 2001, au géoréférencement des phénomènes recensés et à une révision de sa base de données pour la rendre plus opérationnelle, en prévision de l'alimentation de la base de données nationale des mouvements de terrains (BD MVT), dont la gestion a été confiée par le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, au BRGM, aux réseau de l'Equipement et aux services RTM (Restauration des Terrains en Montagne).

Au cours de l'année 2001, plusieurs rencontres ont eu lieu, au Laboratoire Départemental de l'Equipement, avec M. Gilly, ce qui a permis de consulter certains dossiers techniques concernant des mouvements de terrain étudiés par le Laboratoire ou par d'autres organismes (CETE d'Aix-en-Provence en particulier). Les dossiers consultés concernent notamment les communes de Pégairolles-de-l'Escalette (où il existe un PER mouvements de terrain), Gorniès (compte-rendus de visite concernant deux mouvements très ponctuels), Les Plans (où ont été réalisés plusieurs études géotechniques et un plan de zonage intégré au MARNU), Lodève (deux études géotechniques réalisées suite à des glissements de terrain) et Pézennes-les-Mines (compte-rendu de visite avec proposition de confortement suite à un glissement). De nombreuses informations orales ont par ailleurs été recueillies auprès de M. Gilly à l'occasion de ces rencontres. Elles ont permis de guider les visites de terrain et de préciser en particulier les dates de survenance de certains évènements repérés sur site.

4.3. ARCHIVES DU BRGM

Une recherche bibliographique menée auprès de la bibliothèque centrale du BRGM n'a permis d'identifier, dans le bassin versant de l'Hérault, que trois sites de mouvements

de terrain pour lesquels une expertise a été réalisée par le BRGM. Les communes concernés par ces mouvements sont celles du Causse de la Selle (Héraullt), Montdardier et Molières-Cavaillac (Gard). Les informations concernant ces sites ont également été prises en compte dans le recensement des évènements historiques.

4.4. AUTRES SOURCES D'INFORMATION

Les autres sources d'information consultées à ce stade de l'étude sont essentiellement les communes dans lesquelles des indices de mouvements de terrain ont été indiqués par le Laboratoire Départemental de l'Equipement ou observés sur le terrain. Une trentaine de communes ont ainsi été interrogées, les interlocuteurs étant, selon les cas, le secrétaire de mairie, un élu ou le responsable des services techniques. La qualité des données recueillies par ce moyen est très variable d'une commune à l'autre. Certains maires, tel que celui de Brenas, se sont révélés des informateurs particulièrement précieux.

Certains rapports techniques ont pu être consultés en mairie voire obtenus en copie, ce qui a permis d'enrichir la connaissance des phénomènes recensés. Ce fut notamment le cas dans les communes de Ceyras (où un PPR mouvement de terrain a été établi en mars 1996), Castelnau-de-Guers (rapport d'étude géotechnique réalisé suite à un glissement), Lauroux (étude du CETE réalisée en décembre 2000 pour l'établissement d'un plan de zonage du MARNU), Les Plans (plan de zonage du MARNU et rapport d'expertise du CETE réalisé suite à deux glissements survenus en 1997), Olmet-et-Villecun (étude géotechnique effectuée par le CETE en juillet 1999) et Soubès (rapports d'expertise géotechnique suite à des glissements de terrain).

Enfin, des informations complémentaires ont été obtenus, principalement dans la région de Ganges, après interrogation orale de la DDE (subdivision territoriale de Ganges) et du Conseil Général de l'Hérault (subdivision de Ganges).

Fig. 4 - Carte de localisation des mouvements de terrain recensés dans le bassin versant de l'Hérault

4.5. VISITES DE TERRAIN

Une dizaine de visites de terrain a été effectuée entre les mois de mars et octobre 2001. Ces visites ont permis de repérer l'ensemble des sites signalés par les différents informateurs et principalement le Laboratoire Départemental de l'Equipement.

A l'occasion de ces visites, quelques sites non signalés par le LDE mais qui ont été le siège de mouvements de terrain manifestes (et qui, pour certains, ont fait l'objet de mesures de confortement visibles), ont été repérés et ajoutés à la liste des évènements identifiés dans le bassin versant. Certains de ces mouvements, repérés sur le terrain, ont pu être datés après interrogation de témoins (communes notamment), mais ceci n'a pas été possible pour tous les sites ainsi identifiés.

Tous les sites visités ont été géoréférencés par repérage sur cartes topographiques de l'IGN, à l'échelle 1/25 000. Les coordonnées Lambert des sites ont ensuite été calculées par report sous système d'information géographique (logiciel MapInfo) des points sur les fonds topographiques scannés de l'IGN à l'échelle 1/25 000.

4.6. EVENEMENTS RECENSES

Ce sont en définitive 126 sites qui ont été identifiés dans le bassin versant de l'Hérault, comme ayant été le siège de mouvements de terrain. Les caractéristiques de ces sites et des phénomènes qui y ont été observés sont récapitulées dans le tableau en annexe 1.

Pour tous les sites visités, le tableau précise l'origine de l'information qui a permis de l'identifier. Pour la moitié d'entre eux (62 sites), l'origine des données provient du Laboratoire Départemental de l'Equipement (LDE). Les autres sites ont été repérés directement sur le terrain (36 sites) ou sont issus d'informations recueillies auprès des communes (20 sites), du Conseil Général (5 sites) ou provenant du BRGM (3 sites).

Les sites repérés sont répartis dans 43 communes au total, dont 4 seulement situées dans le Gard (12 sites au total répertoriés dans la partie gardoise du bassin, soit à peine 10 % du total mais ceci s'explique surtout par la nature des sources consultées). Les informations recueillies sont plus abondantes dans certaines communes, particulièrement à Lodève (9 sites) et surtout Pégairoles-de-l'Escalette (15 sites), ce qui s'explique par les nombreuses études rendues nécessaires par les travaux de l'A 75 qui traverse dans ce secteur des zones instables, sujettes à de multiples glissements dans le passé. Cette remarque souligne la subjectivité d'un tel recensement : la plupart des sites identifiés sont ceux qui ont fait l'objet d'une étude spécifique, c'est-à-dire ceux qui présentaient des enjeux importants.

Néanmoins, la répartition géographique de ces 126 sites, sujets dans le passé à des mouvements de terrain, peut être considérée comme représentative, même si on constate des concentrations probablement artificielles, en particulier le long du tracé de l'A 75. La carte de répartition des mouvements identifiés (fig. 4) montre en particulier deux

concentrations de mouvements de terrain, d'une part dans le bassin à l'ouest de Lodève, et d'autre part dans les vallées de la Vis et de l'Hérault, au sud de Ganges.

La localisation précise des mouvements identifiés est indiquée à la fois par les coordonnées géographiques X, Y du site (exprimées en Lambert II étendu) et par une description, la plus détaillée possible, de l'emplacement du mouvement avec le nom du lieu-dit et des points de repère permettant de retrouver le site sur le terrain. Les coordonnées ont été calculées sous SIG (à l'aide du logiciel MapInfo) après repérage du site sur fonds topographiques scannés à l'échelle 1/25 000 (diffusés par l'Institut Géographique National). La précision des coordonnées est généralement considérée comme décamétrique. Pour quelques mouvements, difficilement repérables sur le terrain (zones boisées éloignée des routes en particulier), elle est parfois hectométrique.

Les dates de visite indiquées dans le tableau correspondent aux dates auxquelles les sites ont été repérés sur le terrain par le BRGM (certains ayant fait l'objet de visites successives). Ce point a été jugé important car un site de mouvement de terrain est généralement évolutif : les observations effectuées peuvent donc varier considérablement en fonction de la date à laquelle le site a été observé.

La date de début de mouvement qui figure dans le tableau est issue soit de données bibliographiques (provenant en grande part du LDE), soit d'enquêtes auprès de témoins. Il s'agit de la date la plus ancienne connue à partir de laquelle le mouvement est avéré, certains des sites ayant subi plusieurs mouvements successifs. 10 sites sont indiqués avec une date inconnue : il s'agit pour l'essentiel de sites repérés directement sur le terrain et pour lesquels les témoignages font défaut. 9 autres sites ont été présentés comme siège de mouvements récurrents car affectés soit par des mouvements de glissement lent et quasi permanent, soit par des chutes de blocs périodiques qui se produisent après chaque orage important ou lors des périodes de dégel printannier.

Si l'on excepte les 9 sites dont la date de début de mouvement est connue à 10 ans près, il reste en définitive 98 sites datés avec une précision au moins annuelle, dont 61 avec une précision au moins mensuelle (18 d'entre eux étant datés à la journée). La répartition annuelle de ces mouvements depuis 1972 (excluant 4 mouvements antérieurs, dont la date de survenance est comprise entre 1860 et 1958) montre un pic assez net correspondant aux années 1995 à 1997 (fig. 5). Parmi les mouvements recensés (liste très certainement non exhaustive), 11 se sont notamment produits entre décembre 1995 et février 1996 et 13 en décembre 1997 (la plupart dans la vallée de la Vis qui a été touchée par un violent orage le 16 décembre 1997). Cette indication montre à quel point un événement pluviométrique intense peut engendre de multiples mouvements de terrain quasi simultanés.

Le contexte géologique de chacun des mouvements recensés a été décrit brièvement à partir des indications contenues dans la carte géologique et des observations de terrain, parfois complétées par des résultats de sondages recueillis dans les dossiers techniques consultés.

La dernière colonne du tableau en annexe 1 comporte une description détaillée du mouvement de terrain et précise les dimensions physiques du phénomène ainsi que différentes informations telles que les désordres occasionnés, des éventuels travaux de confortement effectuées, les facteurs de déclenchement du phénomène, lorsqu'ils sont connus, et, le cas échéant, l'évolution ultérieure du mouvement en cas d'instabilité résiduelle.

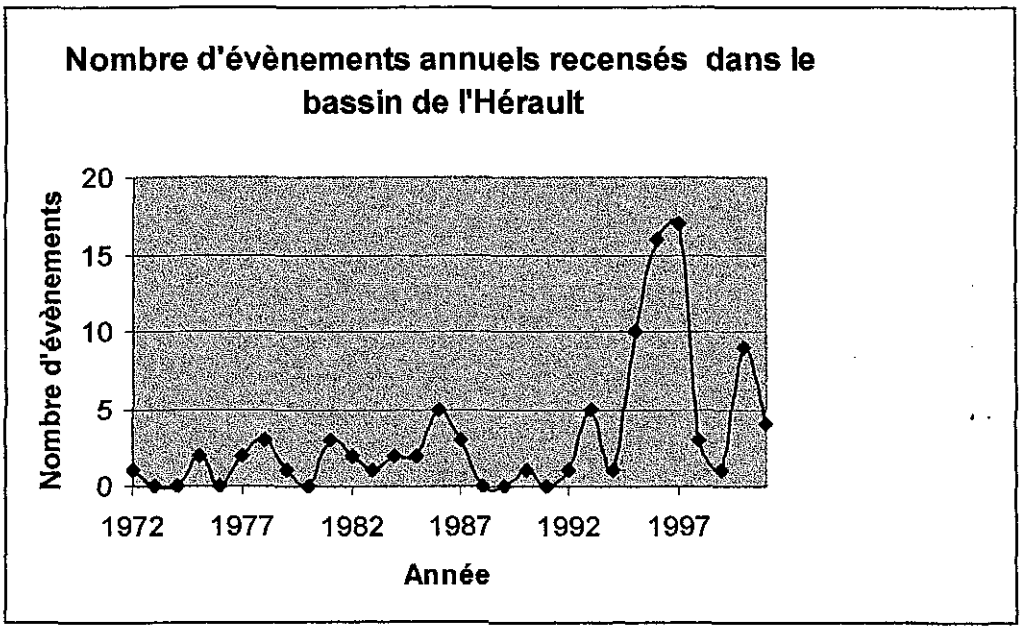

Fig. 5 - Nombre de mouvements de terrain recensés chaque année dans le bassin versant de l'Hérault depuis 1972

5. Analyse critique des données sur les mouvements de terrain

L'examen des archives et les visites de terrain avaient pour objectif principal d'essayer d'établir une typologie des mouvements de terrains déjà recensés et d'identifier les critères de prédisposition qui gouvernent la répartition spatiale de cet aléa dans le bassin de l'Hérault.

5.1. TYPOLOGIE DES MOUVEMENTS ENREGISTRES

En supposant que les 126 sites de mouvements de terrain recensés dans le bassin versant de l'Hérault reflètent la totalité des types de phénomènes susceptibles d'être rencontrés dans le secteur, une typologie peut être proposée sur la base des observations effectuées sur le terrain.

5.1.1. Chute de blocs

Ce type de mouvement de terrain correspond à 19 phénomènes recensés dans le bassin de l'Hérault (15 % du nombre total), principalement situés dans les gorges de l'Hérault et de la Vis, au Sud de Ganges. Il s'agit d'un mécanisme purement gravitaire qui se manifeste de manière rapide et brutale, et qui affecte des matériaux rigides (rocheux) et fracturé. Il concerne principalement les affleurement rocheux, souvent fortement redressés voire subverticaux (fig. 6). Les éléments éboulés sont des pierres (volume inférieur à 1 dm^3) ou des blocs (volume allant jusqu'à 1 m^3), le volume total de l'éboulement ne dépassant généralement pas quelques dizaines de m^3. La distance de propagation peut être très variable selon la géométrie des blocs, la topographie du versant et son état de surface (présence ou non de végétation arborée, en particulier).

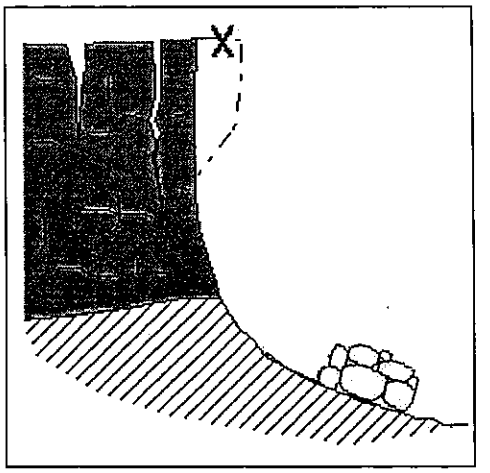

Fig. 6 – Schéma de principe du phénomène de chute de blocs

Le facteur de déclenchement principal de ce type de mouvement est la gravité, mais la pluie peut favoriser le déclenchement des phénomènes (en augmentant la poussée en fond de fissure). Le mécanisme de gel-dégel joue également un rôle important, ce qui explique que nombre de ces mouvements se produisent en fin de période hivernale. La fracturation (parfois aggravée par la présence de végétation arborée dont les racines élargissent les fissures de la roche) est un facteur de prédisposition principal, ainsi que la pente. Plus les talus sont proches de la verticale (voire présentent des dévers ou des surplombs), plus le risque de chute de bloc sera élevé (fig. 7). La hauteur des affleurements, quant à elle, n'influe pas sur le déclenchement du phénomène (un talus de 1 à 2 m de haut suffit pour que des blocs se détachent et obstruent momentanément une route), mais plutôt sur son amplitude (et en particulier sur la distance de propagation, ainsi que sur l'énergie au moment de l'impact).

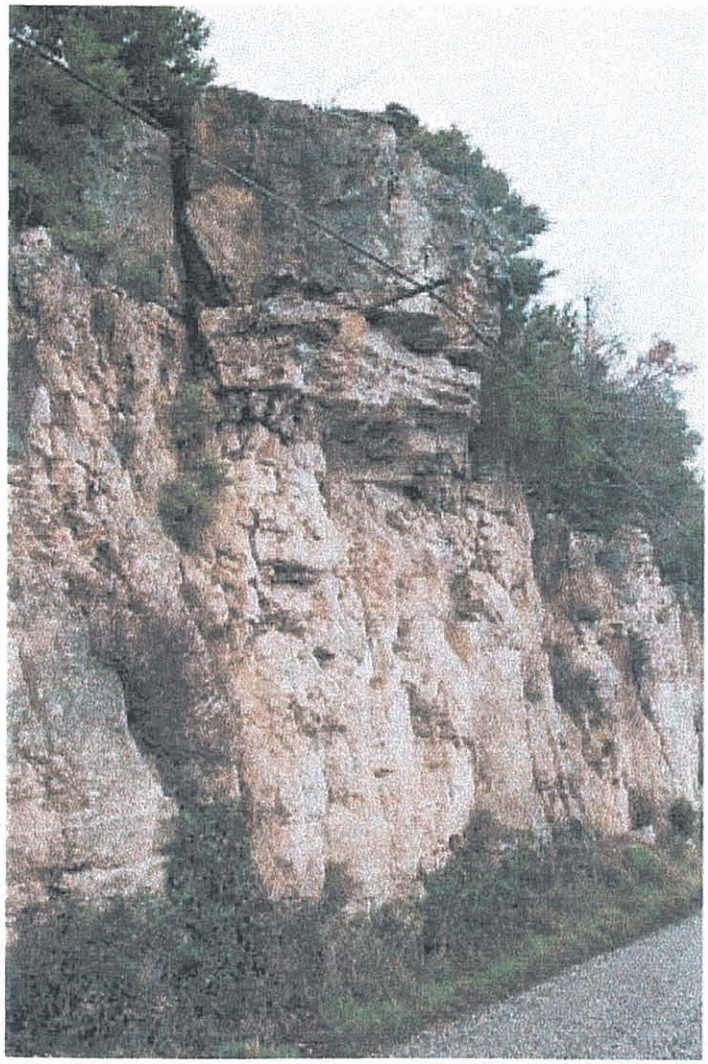

Fig. 7 – Aspect d'un affleurement rocheux présentant des menaces de chutes de blocs, le long de la RD 902 (commune des Plans)

De tels phénomènes ont été observés dans le bassin de l'Hérault essentiellement dans les calcaires massifs du Kimméridgien et du Portlandien (Tithonien) (notamment le long de la RD 122 à Pégairolles de Buèges, ainsi que le long de la RD 999 à Ganges, et le long de la RD 25 à Saint-Maurice-Navacelles, Cazilhac et Saint-Laurent-le-Minier). Des chutes de blocs ont été également observées dans les calcaires dolomitiques du Bathonien (Causse de la Selle, Gorniès), dans les calcaires Hettangien (Les Plans), dans des grès du Trias (Saint-Privat) et dans des coulées de basalte intrusif (Octon).

Les dommages causés par des chutes de blocs peuvent être importants, bien que généralement localisés à des zones d'extension réduite. Dans le bassin versant de l'Hérault, une maison d'habitation a ainsi été entièrement détruite, le 12 octobre 1975, par la chute d'un bloc d'une dizaine de m^3, au lieu-dit « Moulin de Bertrand » (commune du Causse-de-la Selle), heureusement sans faire de victime. Le plus souvent cependant, les dégâts occasionnés par ce type de mouvement se limitent aux routes situées en contrebas, provoquant des détériorations ponctuelles du revêtement, des destructions du parapet, des fermetures de routes et, parfois, des dommages matériels aux véhicules (sans que, là encore, des victimes ne soient à déplorer).

5.1.2. Eboulement rocheux

Le phénomène d'éboulement rocheux a été recensé 16 fois dans le bassin de l'Hérault (ce qui correspond à 13 % des mouvements identifiés). Il est comparable à celui des chutes de blocs décrit précédemment, mais il concerne des volumes nettement plus importants de matériaux, de plusieurs dizaines de m^3 à quelques milliers voire dizaines de milliers de m^3). Il ne s'agit pas ici de chute de blocs isolés mais de la ruine en grande masse d'un pan de falaise ou d'un talus rocheux. Ce phénomène concerne, de la même façon que le précédent, essentiellement les affleurements rocheux subverticaux.

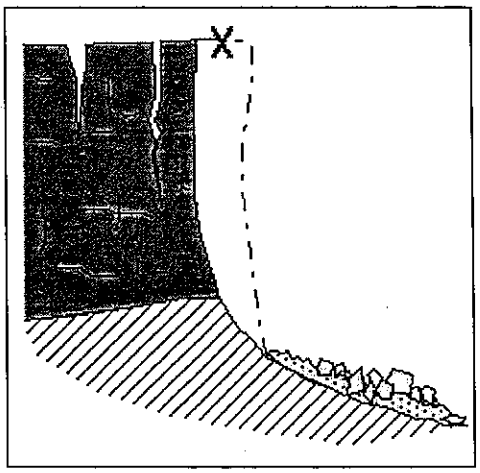

Fig. 8 – Schéma de principe du phénomène d'éboulement rocheux

Le facteur principal de déclenchement est la gravité associée à la pluviosité. Les mécanismes mis en jeu sont les mêmes que pour la chute de blocs mais affectent des masses rocheuses en plus grand nombre. Ainsi la fracturation, qui est le facteur principal de prédisposition, doit être importante sur l'ensemble du talus rocheux pour que se produise un éboulement en masse.

Les phénomènes répertoriés se sont produits principalement dans les calcaires fracturés du Kimméridgien supérieur et surtout du Portlandien dans les gorges de l'Hérault et de la Vis (en particulier le long de la RD 25 à Saint-Laurent-le-Minier), ainsi que dans les calcaires et dolomies du Dogger (Bajocien et Bathonien), notamment à Pégairolles de l'Escalette (le long de la RN 9), Pégairolles-de-Buèges et Gorniès. Les autres formations géologiques concernées par ce type de mouvement sont principalement les calcaires dolomitiques d'âge Hettangien, dans le bassin de Lodève (communes des Plans et surtout de Pégairelles-de-l'Escalette) et, dans une moindre mesure, les grès du Trias (à Lodève) et des calcaires dolomitiques d'âge Dévonien (le long de la RD 908 à Mourèze).

Les dégâts occasionnés par ce type de phénomène peuvent être considérables. Néanmoins, le recensement effectué ne fait état d'aucune victime ni destruction de bâtiment à ce jour dans le bassin de l'Hérault à la suite d'éboulement rocheux, même si des dégâts matériels sont à déplorer sur des véhicules qui ont été heurtés par des blocs (à Ganges et Saint-Beauzille-de-Putois, notamment). Les informations recueillies mentionnent de nombreuses coupures de routes consécutives à des éboulements importants. Ceci concerne en particulier la RD 25, dans les gorges de la Vis (restée interdite à la circulation pendant 3 semaines, en 1958, après un éboulement impliquant des blocs de plusieurs dizaines de m^3), ainsi que l'ancien tracé de la RN 9, en contrebas du Pas de l'Escalette, où un éboulement majeur, survenu vers 1903, a laissé des traces toujours bien visibles dans le versant en contrebas (fig. 9). Enfin, il est signalé des dommages importants, consécutifs à des éboulements rocheux, sur les chaussées (avec destruction des parapets et endommagement du revêtement) et des canaux (le long de la Vis et de la Lergue).

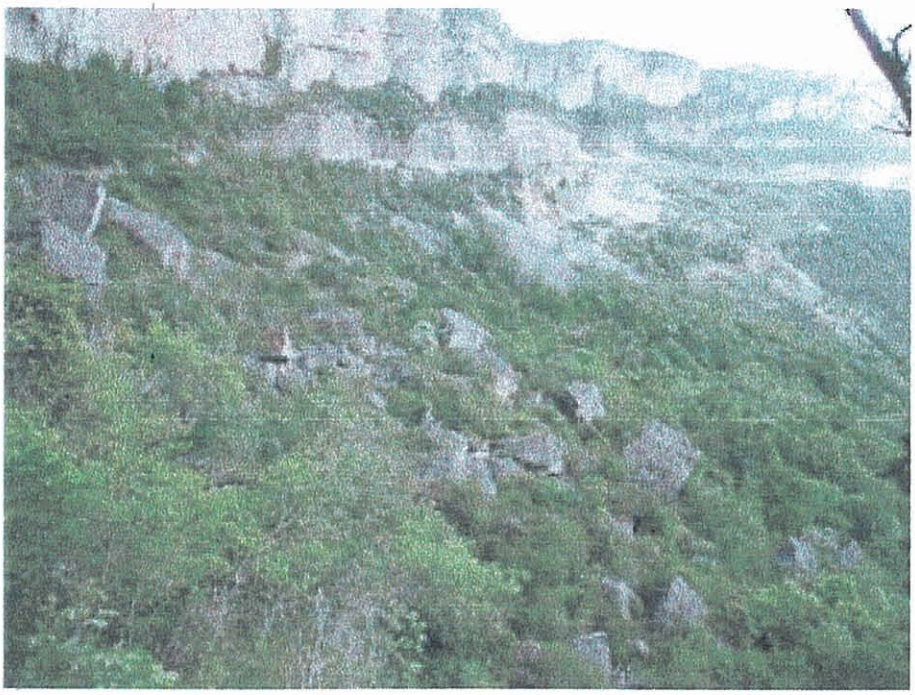

Fig. 9 – Vestiges d'un éboulement rocheux survenu au début du vingtième siècle, le long de l'ancien tracé de la RN 9, en contrebas du Pas de l'Escalette (commune de Pégairoles-de-l'Escalette)

5.1.3. Erosion de berge / Eboulement

Ce type de mouvement est relativement rare sur le bassin d'étude puisqu'il n'a été observé que 5 fois (soit 4 % des mouvements recensés). L'érosion par sous-cavage et les éboulements qui y sont liés concernent principalement les falaises, situées en bordure de cours d'eau et qui sont soumises à une érosion de pied, notamment dans les parties concaves des méandres (fig. 10).

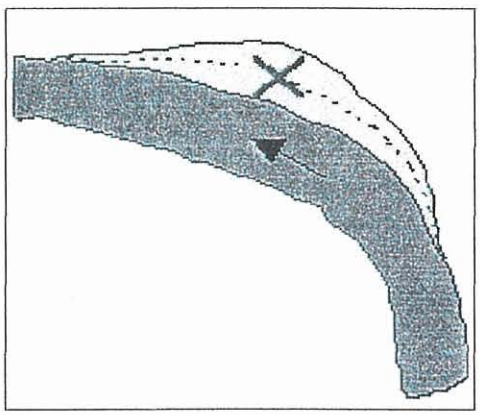

Fig. 10 – Schéma de principe du phénomène d'érosion de berge

Cette érosion est continue avec des paroxysmes en période de crues, lorsque la vitesse du courant est maximale. A ces occasions, des pans entiers de falaise peuvent s'effondrer de manière brutale, menaçant les habitations ou les routes situées au sommet.

Le recensement effectué indique que ce type de phénomène est très localisé dans le bassin de l'Hérault puisqu'il n'a été signalé que dans deux communes : Pégairolles-de-l'Escalette (bâti sur une falaise de calcaires travertineux) et Ceyras (fondé sur des marnes du Miocène), toutes deux situées le long de la Lergue.

Néanmoins, les dégâts occasionnés par ce type de mouvement peuvent être considérables. A Pégairolles-de-l'Escalette, deux maisons se seraient ainsi effondrées en 1930 et un Plan d'Exposition aux Risques (PER) a été établi dès 1994 pour prendre notamment en compte ce phénomène. A Ceyras, des maisons auraient aussi été détruites et des voies communales coupées du fait de la régression de la falaise en bordure de la Lergue. Un périmètre de sécurité puis un PPR ont été établis en 1996, entraînant l'évacuation d'une maisons menacées.

5.1.4. Effondrement

Ce phénomène correspond à un mouvement gravitaire brutal, à composante essentiellement verticale, lié à l'effondrement d'une cavité souterraine. Dans le bassin versant de l'Hérault, ce type de mouvement a été signalé à une seule reprise, dans la commune des Rives, le long de la RD 142. Il s'agit de l'effondrement d'une cavité naturelle qui correspond à une poche de dissolution karstique apparue dans des formations calcaires sous l'effet de la circulation d'eau souterraines dans les fractures du massif.

Ce type d'effondrement peut cependant se produire ailleurs, compte tenu de l'importance des terrains calcaires souvent fortement karstifiés dans le bassin versant de l'Hérault, et en particulier sur les plateaux des Causses, au nord-ouest du bassin. Seules des cavités souterraines d'origine naturelle (karstiques) semblent cependant pouvoir être à l'origine de tels effondrements dans la mesure où le bassin de l'Hérault ne recèle pas (ou peu) de cavités souterraines anthropiques (carrières, caves ou souterrains-refuges, creusés de la main de l'homme).

Aux Rives, le mouvement observé correspond à l'effondrement d'une poche karstique survenu dans des calcaires d'âge Bathonien et ayant entraîné les formations volcaniques susjacentes. L'épaisseur de la dalle de toit n'était pas suffisante pour tenir la charge de terrain et surtout la surcharge hydrostatique puisque ce phénomène s'est produit suite à une forte pluie. La profondeur du vide résultant était de 2 m. l'excavation a endommagé la RD 142 sur une longueur de 50 m, mais n'a pas fait de victime.

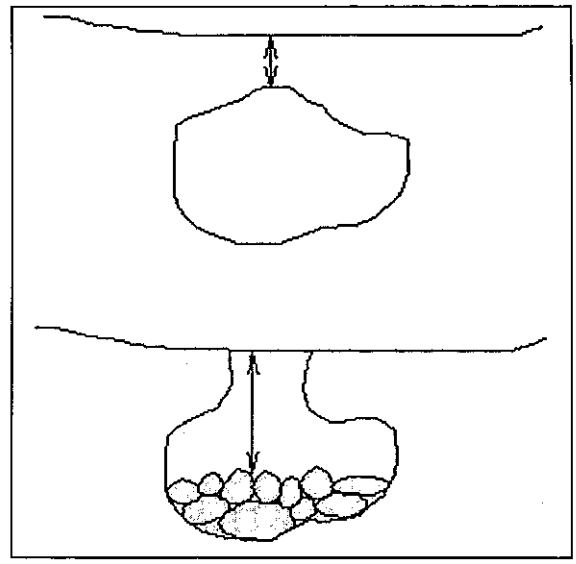

Fig. 11 – Schéma de principe du phénomène d'effondrement

5.1.5. Glissement

Les glissements sont le type de phénomène le plus fréquemment rencontré dans le bassin versant de l'Hérault, d'après le recensement effectué (66 sites de glissement, soit plus de la moitié du nombre total de mouvements recensés). Il s'agit d'un déplacement, généralement lent, d'une masse de terrain souvent meuble, le long d'une surface de rupture. Ce phénomène se caractérise par la formation d'une niche d'arrachement, en amont, et d'un bourrelet de pied en aval (fig. 12).

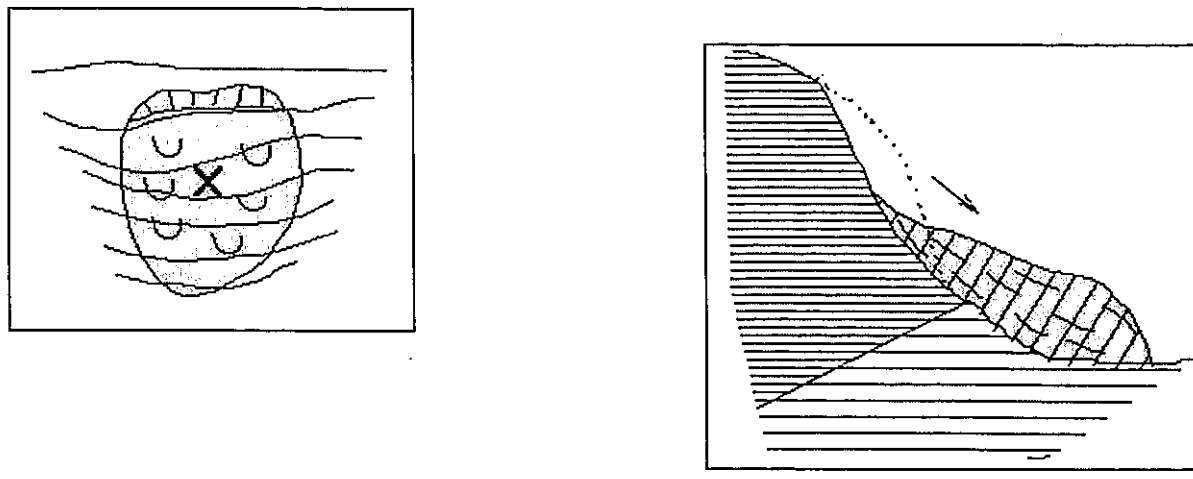

Fig. 12 – Schéma de principe du phénomène de glissement (vue en plan et en coupe)

Ce type de mouvements concerne toutes les argiles et les marnes présentes du Dévonien au Miocène ainsi que des dépôts alluvionnaires, des éboulis soit plus généralement des

formations à faible cohésion. Suivant la nature des terrains et leur disposition, deux types de glissements peuvent être distingués.

Le premier type de glissement recensé correspond à un phénomène de fluage des talus. Il se produit dans des terrains marneux (marnes du Berriasien à Cazilhac) ou argileux (argiles du Trias inférieur en contrebas de la RD 157 E4 à Lavalette) voire schisteux (calcschistes le long de la RD 48S à Montdardier). Ce type de phénomènes fait partie des mouvements plutôt lents et continus. Le facteur de déclenchement est la pluviosité mais les mouvements peuvent se produire avec un certain retard.

Fig. 13– Glissement de terrain (partiellement conforté par enrochements) en bordure de la RD 108 (commune de Saint-Bauzille-de-Putois)

Le deuxième type de glissement correspond à des glissements plan de la tranche superficielle de sol. Cette épaisseur de sol est composée généralement d'éboulis reposant sur des formations marneuses ou argileuses qui constituent une surface de glissement. Dans ce cas les mouvements peuvent être plus brutaux et de grande ampleur. Ils se déclenchent systématiquement lors d'un épisode de forte pluviosité. Ceci caractérise par exemple le vaste glissement entre les RD 902 et 35E, sur la commune des Plans (jusqu'à 10 m de colluvions et éboulis reposant sur des argilites du Trias), le vaste glissement de versant le long de la RD 999 à Molières-Cavaillac (éboulis sur marnes dolomitiques du Rhétien) et les mouvements constatés en bordure de la RD 25 à Saint-Etienne de Gourgas (éboulis sur les marnes du Trias) et à Rogues (éboulis sur les marnes de l'Aalénien). Dans des matériaux bien stratifiés, la surface de glissement

correspond souvent à un joint de stratification. Ceci est particulièrement net dans les glissements qui affectent les pélites et argilites rouges d'âge Saxonien (Permien) dans le bassin de Lodève (fig. 14).

Fig. 14 – Glissement plan dans les pélites et argilites rouges d'âge Saxonien, le long d'un plan de stratification (commune de Mérifons)

Dans des matériaux peu cohérents, tels que des grèzes (résultant de l'altération météorique, en environnement périglaciaire, de formations calcaires fracturées) ou des éboulis, la surface de glissement n'est pas nécessairement bien individualisée et le mouvement se rapproche d'un phénomène d'éboulement (fig. 15). Ce type de glissement s'observe aussi dans les anciennes terrasses alluvionnaires perchées sur les plateaux qui dominent la vallée du Rieutord, dans la commune de Ganges.

Fig. 15 – Amorce de glissement en tête d'une ancienne carrière de grèze, le long de la RD 9 (commune d'Arboras)

L'ampleur des glissements de terrain recensés dans le bassin versant de l'Hérault est très variable. Certains mouvements de fluage lent, détectés uniquement le long des talus routiers ou à l'occasion de terrassements effectués pour des chantiers de construction, se manifestent par de simples loupes de glissement et généralement une déformation de la chaussée. D'autres, qui affectent des versants entiers, peuvent entraîner des désordres importants au droits de certains ouvrages (cas du viaduc de Pégairolles-de-l'Escalette qui a dû être détruit car il menaçait ruine).

Quant aux glissements plans, dont le déclenchement est brutal (parfois à la suite d'un terrassement inopportun en pied de talus, mais le plus souvent en relation avec une épisode de forte pluviosité), ils peuvent mobiliser des volumes de terrain très importants : les surfaces affectées atteignent de l'ordre de 6 hectares pour le glissement survenu aux alentours de 1905 à Brenas (lieu-dit « Chemin de Moulens ») et plus de 20 hectares pour un mouvement de grande ampleur situé sur la commune de Lodève, au lieu-dit « Les Giriausses » et repéré depuis au moins 1954. Plusieurs maisons ont été détruites ou ont dû être évacuées préventivement suite à de tels mouvements à Ganges, Les Plans, Olmet-et-Villecun (où une grande parte du bourg présentent des désordres), Soubès et Pégairolles-de-l'Escalette. Dans cette dernière commune, plusieurs glissements majeurs ont affecté le versant situé en rive gauche de la Lergue, entraînant des modifications du cours de la rivière, la ruine de plusieurs bâtiments et des dommages importants au réseau routier (fig. 16). Un glissement survenu le 13 juin

1993, immédiatement à l'ouest de la tête sud du tunnel du Pas-de-l'Escalette (alors en cours de creusement) a ainsi emporté la plate forme de la RN 9 sur une longueur d'une centaine de mètres, le volume des terrains mobilisé par ce mouvement étant estimé à 200 000 m^3.

Fig. 16 - Fissuration de la chaussée sur l'ancien tracé de la RN 9, en contrebas du Pas de l'Escalette (commune de Pégairolles-de-l'Escalette), à la suite d'un glissement réactivé en 1984

5.1.6. Glissement / Coulée de boue

Le phénomène de glissement de terrain associé à une coulée de boue a été recensé à 10 reprises dans l'ensemble du bassin versant, ce qui correspond à 8 % seulement des mouvements identifiés. Il s'agit d'un déplacement qui affecte une masse de matériaux remaniée, mise en mouvement à la suite d'un glissement (ou parfois d'un éboulement, comme c'est le cas d'une coulée survenue en 1983 dans la commune de Saint-Maurice-Navacelles), mais qui se propage à grande vitesse, sous forme visqueuse avec une teneur en eau très élevée (fig. 17).

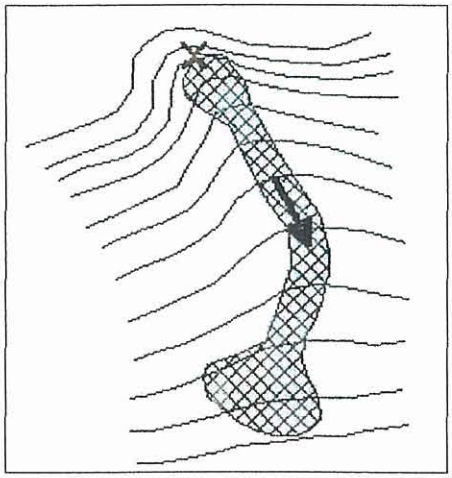

Fig. 17 – Schéma de principe du phénomène de coulée de boue

Une coulée de boue se caractérise donc, comme un glissement, par une niche d'arrachement en amont (fig. 18), dont le diamètre peut atteindre plusieurs dizaines de mètres et le dénivelé dépasser 10 m. En revanche, la propagation se fait généralement dans un thalweg étroit (largeur habituelle de l'ordre de 2 à 4 m, pour une profondeur de 1 à 2 m), déjà marqué dans la topographie du versant mais qui se trouve décapé et surcreusé par le passage de la coulée (fig. 19).

Fig. 18 – Niche d'arrachement en amont d'une coulée de boue (commune de Rogues)

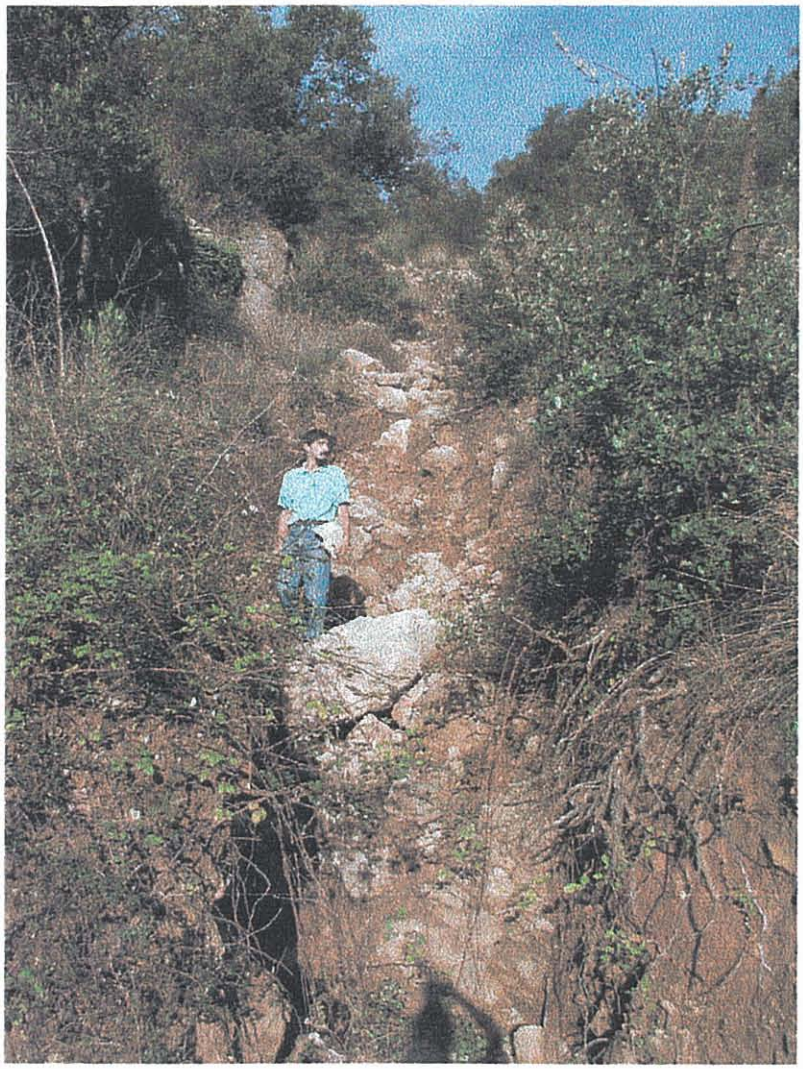

Fig. 19 – Zone de propagation en aval d'une coulée de boue (commune de Rogues)

Ce type de mouvement concerne exclusivement les formations à cohésion faible et composition granulométrique adéquate, telles des colluvions ou des éboulis de pente reposant sur un versant constitué de marnes, d'argiles ou même de calcaires. Le facteur de déclenchement principal des mouvements est la pluie qui favorise le décollement de la couche superficielle. La pente (parfois aggravée par l'absence de végétation) est un facteur de prédisposition principal. La hauteur des affleurements influe sur l'amplitude du phénomène et donc en particulier sur la distance de propagation.

De tels phénomènes ont été observés dans les éboulis reposant sur un terrain argileux comme à Brenas le long de la RD 157 ou aux Plans dans le quartier des Canalettes, sur un terrain marneux comme aux Plans près de la colonie de l'Oustalet et sur un terrain calcaire comme à Gorniès le long de la RD 25 et à Rogues au nord-ouest du Château de Madières. Au hameau de Beauquinies à Gorniès, une coulée de sable a aussi été recensée et qui correspond aux déblais d'une cavité karstique. Une coulée initiée par un éboulement rocheux a également été constaté le long de la RD 25 sur la commune de

Saint-Maurice-Navacelles, au pK 26,750 (éboulis de calcaires dolomitiques sur marnes du Dogger).

La plupart des coulées de boue repérées dans le bassin versant de l'Hérault n'ont causé que des dommages relativement restreints. Plusieurs d'entre elles ont cependant provoqué des coupures momentanées du réseau routier (RD 157 à Brenas, RD 25 à Gorniès et Saint-Maurice-Navacelles). Celles survenues au lieu-dit « Le Perthus », commune des Plans, le 5 novembre et le 18 décembre 1997, ont entraîné la ruine partielle des bâtiments d'une colonie de vacances, heureusement sans causer de victime, et rendu la circulation impossible pendant plusieurs jours sur la RD 902.

5.1.7. Glissement / Eboulement

Ce type de phénomène a été observé 9 fois dans le bassin de l'Hérault (soit 8 % du nombre total de mouvements recensés). Il s'agit d'un phénomène mixte qui affecte soit des matériaux rocheux fracturés, soit des formations meubles de type éboulis englobant des blocs de grande taille, et pour lequel il est difficile de reconnaître, tant dans l'initiation du mouvement que dans son mode de propagation, la part respective du glissement et de l'éboulement.

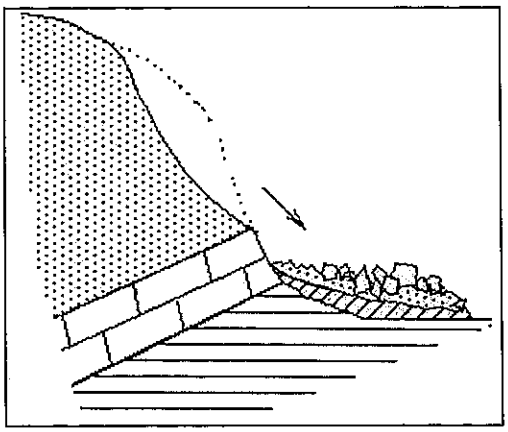

Fig. 20 – Schéma de principe du phénomène de glissement / éboulement

Ce type d'événement se produit au sein de formations à faible cohésion telles que des éboulis, des grèzes ou des colluvions à matrice limoneuse. Là encore, le facteur de déclenchement principal est la pluie mais la pente joue un rôle prépondérant comme facteur de prédisposition. Ce type de phénomène peut connaître une évolution assez brutale mais son ampleur est limitée au volume de formations concernées (généralement discontinues).

Des exemples de ce type de mouvement sont visibles sur la route de l'Escoutet à Beauquiniès (commune de Gorniès), dans des éboulis de calcaires dolomitiques Bathonien reposant sur un talus de Lias marneux (fig. 21).

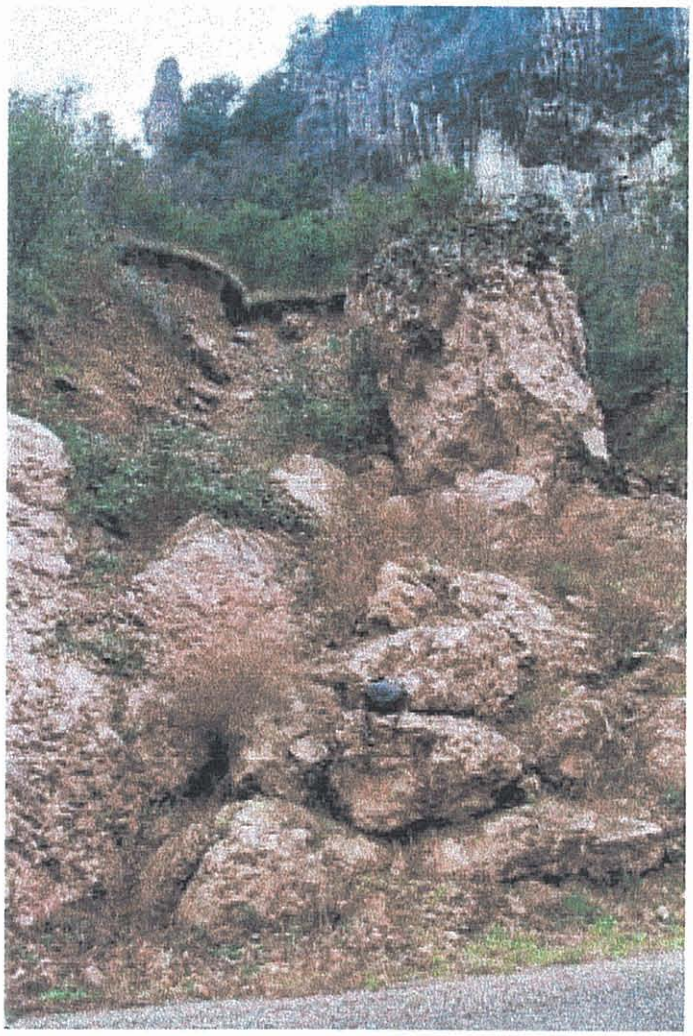

Fig. 21 - Glissement / éboulement le long de la route de l'Escoutet à Beauquiniès (commune de Gorniès)

D'autres mouvements de ce type ont été repérés le long de la RD 146 dans la commune de Montesquieu, ou encore le long de la RD 25 à Rogues et à Saint-Laurent-le-Minier. Ce dernier éboulement, datant de la fin des années 1970, est d'ampleur importante puisqu'il a affectée une surface de 10 000 m². Le versant étant devenu instable, un confortement avec trois rangées de gabions a été mis en place. Un mouvement remarquable, qui peut se rattacher à cette catégorie, est celui qui s'est produit le 16 décembre 1997, au dessus du hameau de Madières (commune de Saint-Maurice-Navacelles). Il s'agit d'un glissement / éboulement survenu (à la suite de fortes pluies) dans des éboulis de calcaire Bajocien en pied de falaise, sur un versant relativement pentu. Plusieurs maisons ont été endommagées par cet événement et la RD 25 est restée coupée à la circulation pendant plusieurs mois (fig. 22).

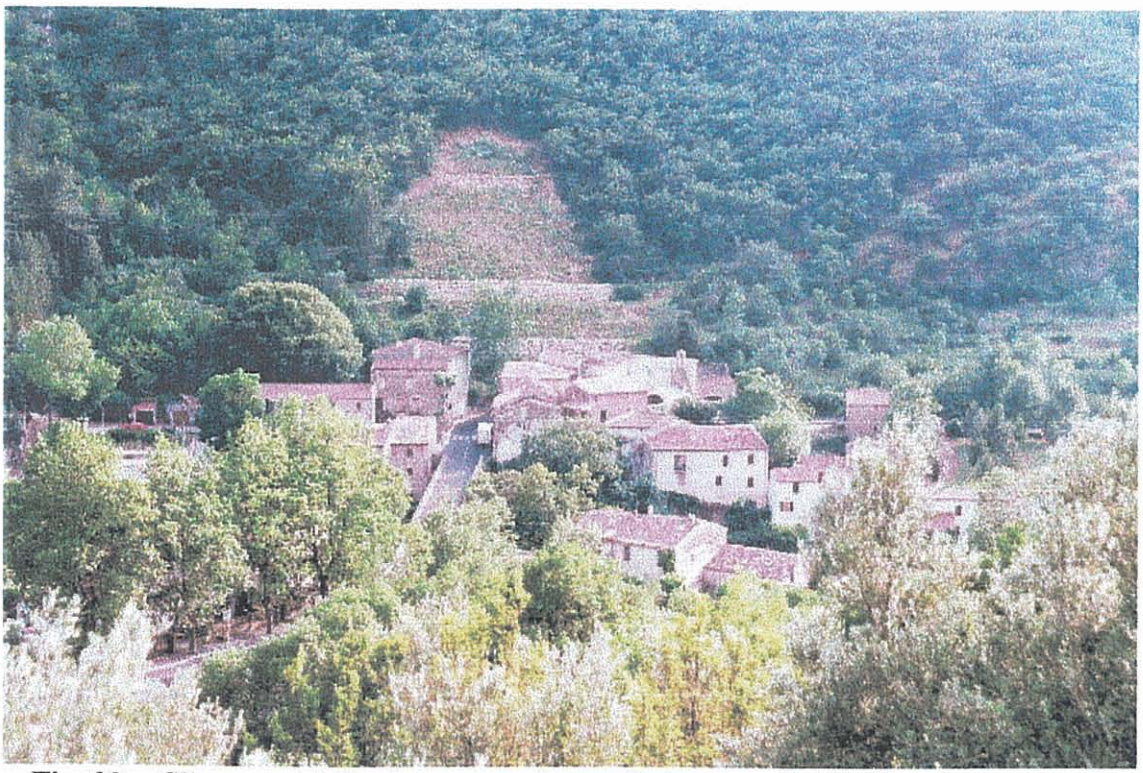

Fig. 22 – Glissement / éboulement au dessus du hameau de Madière (commune de Saint-Maurice-Navacelles), après confortement

5.2. IDENTIFICATION DES FACTEURS DE CAUSALITE

L'identification de ces facteurs est importante car ce sont eux qui gouvernent la répartition spatiale de l'aléa mouvement de terrain. La cartographie de cet aléa nécessite donc la connaissance de ces facteurs en tout point. Les mouvements de terrain qui surviennent dans le bassin de l'Hérault sont liés à la conjonction de deux types de facteurs :

- des facteurs de déclenchement ;
- des facteurs de prédisposition.

5.2.1. Facteurs de déclenchement des mouvements de terrain

En toute rigueur, la connaissance de la répartition spatiale des facteurs de déclenchement est aussi nécessaire pour tracer une carte de l'aléa. En particulier, la répartition spatiale de la pluviosité est à étudier car il n'est pas exclu qu'il existe des différences notables d'un point à un autre du bassin, du moins pour les précipitations à caractère orageux (en fonction de l'orientation des vallées par exemple). Cependant, une telle analyse ne présente aucune difficulté a priori et on peut s'en affranchir dans un premier temps, dans la mesure où ces différences de pluviosité ne jouent probablement qu'un rôle correctif relativement mineur.

5.2.2. Facteurs de prédisposition aux mouvements de terrain

En ce qui concerne les facteurs de prédisposition, le principal est sans conteste la lithologie. Sa répartition spatiale est connue au travers des cartes géologiques à l'échelle 1/50 000 qui couvrent la totalité du bassin versant, à l'exception d'un secteur marginal en limite nord du bassin (feuille de Saint-André de Valborone, actuellement non disponible). Ces cartes existent sous forme scannée. L'utilisation de la géologie pour des traitements numériques suppose donc la digitalisation préalable des contours (passage en mode vecteur). Par ailleurs, il convient de garder à l'esprit que les éléments cartographiés sont des formations géologiques (caractérisées par un âge et des conditions de mise en place) lesquelles ne correspondent pas nécessairement à une lithologie homogène. Enfin, les visites de terrain ont permis de constater l'existence de nombreuses poches ou placages superficiels d'éboulis ou de grèzes, de faible extension, qui ne sont pas représentés sur les cartes géologiques. Or ces formations superficielles, de quelques mètres d'épaisseur, sont fréquemment le siège d'éboulements ou glissements de terrain, dont l'ampleur peut suffire à rendre une route momentanément impraticable.

La géométrie des formations géologiques à l'affleurement constitue aussi un facteur de prédisposition important. L'épaisseur des bancs calcaires influe souvent sur leur degré de fracturation (les joints de sédimentation faisant office de discontinuité). Le pendage des couches joue également un rôle non négligeable. Un affleurement placé en situation d'aval pendage sera plus sensible à des chutes de blocs. Or la complexité de la tectonique locale (en particulier dans le secteur de la faille des Cévennes) se traduit par

une très grande variabilité des pendages pour lesquels on ne dispose que de données éparses et non géoréférencées.

Le degré de fracturation des affleurements rocheux constitue également un facteur de prédisposition dont le rôle est prépondérant, en ce qui concerne du moins les phénomènes de chutes de blocs. Or ce paramètre n'est connu que de manière très locale (relevés ponctuels de fracturation à l'échelle d'un affleurement) alors que, là encore, le contexte tectonique se traduit par de fortes hétérogénéités à l'intérieur du bassin, avec la présence de zones localement très fracturées voire broyées (mylonites).

Un autre facteur de prédisposition important (en particulier pour les glissements / éboulements) est la pente des talus (ou des versants pour les mouvements de grande ampleur). La répartition spatiale de ce paramètre peut être approchée par l'exploitation d'un modèle numérique de terrain (MNT). Un tel modèle est actuellement disponible au pas de 50 m et au pas de 25 m. Des tentatives d'exploitations ont été réalisées avec le MNT au pas de 50 m, disponible au BRGM. Les pentes des versants ont été calculés à proximité immédiate du réseau routier (fig. 23). Les résultats sont intéressants mais il reste à vérifier que les valeurs calculées reflètent effectivement la réalité. Le pas de 50 m paraît en effet a priori peu adapté pour caractériser des mouvements dont l'amplitude est généralement de l'ordre de quelques dizaines de mètres au maximum. En particulier, un talus subvertical de quelques mètres de hauteur ne peut pas être discriminé avec un MNT dont le pas de mesure est de 50 m. Par ailleurs, la pente n'est pas un facteur déterminant dans le déclenchement de plusieurs des types de phénomènes identifiés (érosion par sous-cavage et chute de blocs en particulier).

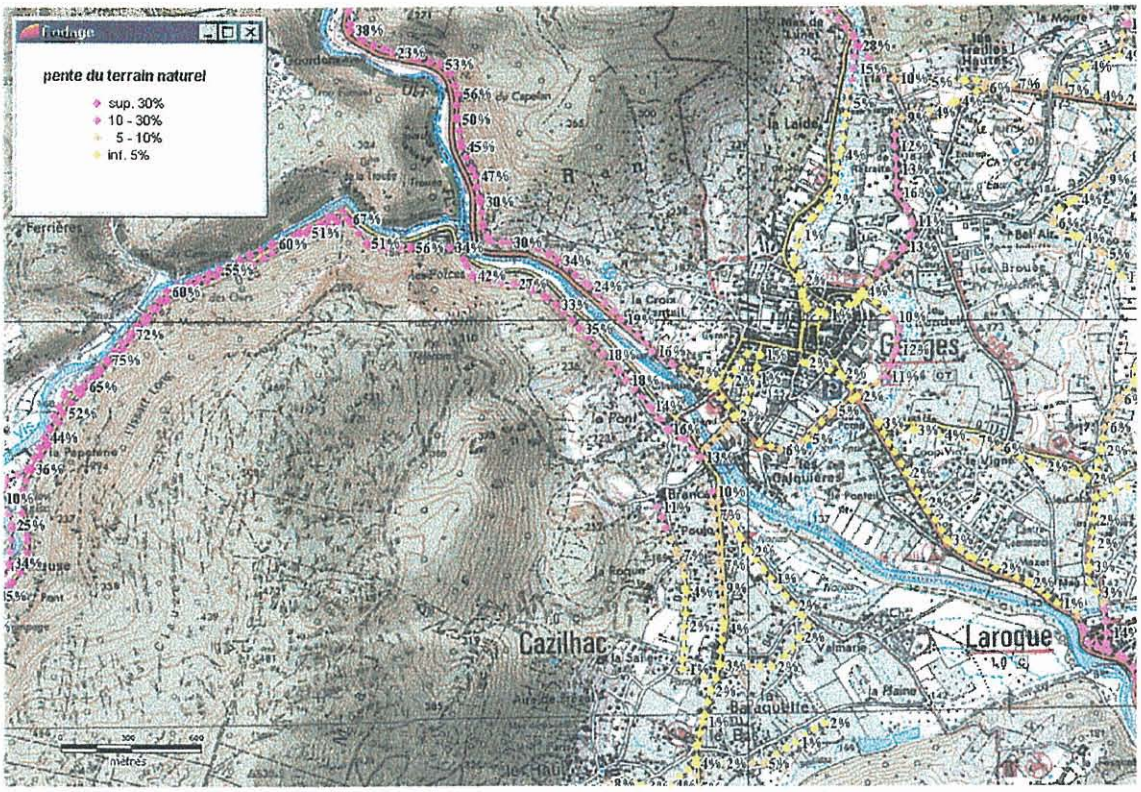

Fig. 23 – Pente des versants aux abords immédiats du réseau routier dans la région de Ganges (calculée à partir du MNT au pas de 50 m)

6. Propositions pour la suite de l'étude

6.1. DEMARCHE PROPOSEE

La démarche entamée depuis plusieurs mois dans le cadre du projet PACTES est très clairement orientée vers une méthodologie d'expertise. En effet, compte tenu que les phénomènes étudiés sont d'ampleur locale, seule une étude sur le terrain est réellement envisageable. Dans cette optique, le recensement des mouvements de terrain survenus dans le bassin versant et la typologie des phénomènes ont été effectués.

L'inventaire des évènements, réalisé grâce au recueil de données provenant de plusieurs sources, validées et complétées par enquêtes sur le terrain, a permis de dresser une liste de 126 sites de mouvements de terrain recensés dans le bassin versant de l'Hérault. Pour chacun de ces phénomènes, une description la plus détaillée possible a été réalisée (annexe 1).

L'analyse critique des données recueillies a permis d'établir une typologie des phénomènes rencontrés dans le bassin versant et donc susceptibles de se reproduire. Sept types de phénomènes ont ainsi été identifiés sur l'ensemble de la zone d'étude. Cette typologie est accompagnée d'un examen des facteurs de causalité, ce qui permet de déterminer les configurations favorables à l'occurence de tels phénomènes.

Ces premières étapes préalables étant réalisées, il faut à présent procéder à la cartographie de l'aléa mouvements de terrain. Compte tenu de la superficie relativement importante du bassin versant de l'Hérault et étant donné le caractère essentiellement méthodologique de l'étude, cette cartographie d'aléa sera effectuée sur une zone test de superficie plus restreinte. Une fois réalisée, cette carte servira de calage pour l'exploitation d'éléments plus spécifiques (tels les images satellites). Si ce calage est concluant, la cartographie de l'ensemble du bassins sera envisageable.

6.2. CHOIX DE LA ZONE TEST

La prochaine étape de l'étude du module « mouvements de terrain » du projet PACTES est la cartographie de l'aléa mouvements de terrain sur une zone test. Cette zone test doit être représentative de l'ensemble du bassin versant, c'est à dire conserver les caractéristiques du bassin malgré une superficie plus réduite. La variabilité des faciès lithologiques et la diversité des types de phénomènes doivent être préservées. Dans cette zone test, des observations de terrain pourront être effectuées (principalement à proximité de la voirie et des habitations) ainsi que des enquêtes orales auprès des communes, afin de compléter les données recueillies jusqu'à présent.

La zone test proposée pour la suite de l'étude se situe au nord du bassin versant (fig. 24), à cheval sur les départements du Gard et de l'Hérault. Il s'agit d'un rectangle d'environ 12 km (selon l'axe nord-sud) par 20 km, soit un peu moins de 250 km^2. Les coordonnées Lambert II de Paris des sommets opposés du rectangle sont :

- Sommet Sud-Oust : X = 695 790 m et Y = 1 872 205 m ;
- Sommet Nord-Est : X = 715 375 m et Y = 1 884 215 m.

21 communes sont situées au moins partiellement à l'intérieur de la zone d'étude. Le secteur est relativement riche en phénomènes puisque 43 mouvements ont été recensés ce qui représente plus du tiers des 126 évènements inventoriés dans l'ensemble du bassin de l'Hérault (sur moins de 10 % de sa superficie).

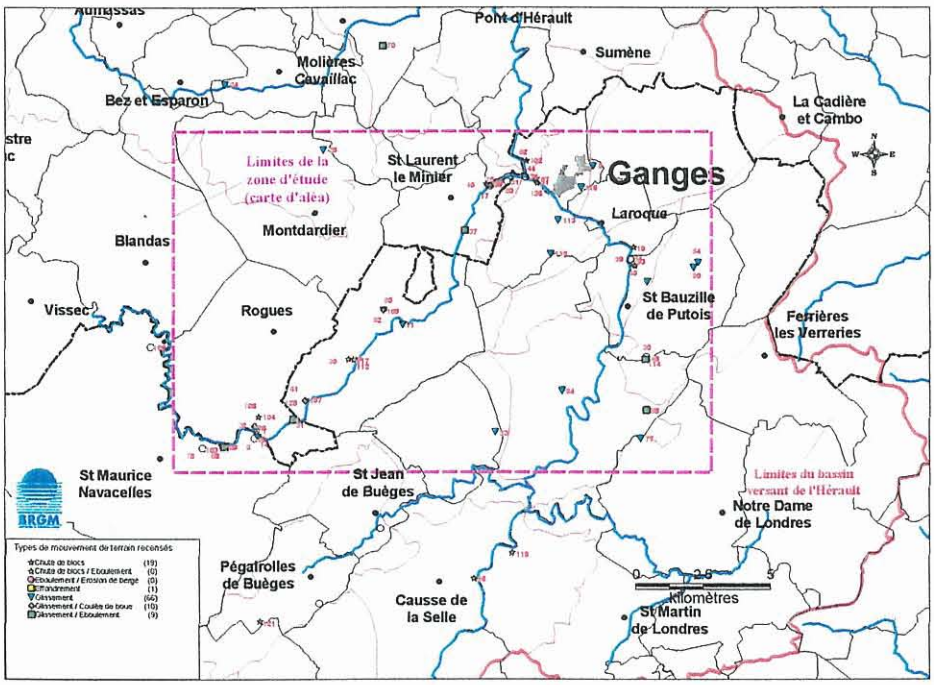

Fig. 24 – Proposition de délimitation de la zone test pour la cartographie d'aléa mouvements de terrain

Excepté les phénomènes d'effondrement et d'éboulement lié à l'érosion de berge qui n'ont été observés que dans un très petit nombre de communes (Les Rives, Ceyras et Pégairolles-de-l'Escalette), toutes situées plus au sud, l'ensemble des cinq autres types de mouvements est représenté avec au minimum 4 sites pour chacun. Les deux phénomènes non représentés dans cette zone ne doivent pas pour autant être écartés de l'étude. Ils seront pris en compte de façon individuelle et ainsi intégrés à la cartographie de l'aléa sur la zone test.

D'un point de vue géologique, toutes les entités géologiques ne sont pas présentes mais les deux ensembles distincts (les terrains paléozoïques et cristallins et les terrains calcaires) sont représentés. En ce qui concerne les terrains paléozoïques et cristallins, est présente l'unité de Saint-Bresson-Les-Malines (cf. carte géologique Le Vigan – 937) au

nord de la zone, très variée du point de vue lithologique. Les séries présentes datent du Cambrien Inférieur (Géorgien) au Cambro-Ordovicien avec des niveaux de quartzites. Les terrains calcaires occupent la plus grande partie de la zone test et datent du Jurassique supérieur. Les vallées de la Vis et de la Séranne font partie de la zone tabulaire des Grands Causses. D'un point de vue tectonique, la faille des Cévennes figure au sud-est de la zone test ce qui induit des affleurements rocheux très fortement fracturés et des faciès extrêmement variés et changeant (marnes, calcaires, grès, conglomérats).

Les enjeux (voies de communication et villages habités) de la zone seront visités de façon systématique notamment les routes a priori sensibles et en particulier la RD 25 qui longe le cours de la Vis, au fond de gorges très encaissées.

Conclusion

L'état actuel d'avancement du module « mouvements de terrain » du projet PACTES a d'ores et déjà permis de réaliser un inventaire des mouvements de terrains survenus dans le bassin de l'Hérault, lequel couvre une superficie totale de 2 600 km^2. Cet inventaire a été réalisé à partir de données bibliographiques et d'enquêtes auprès des communes et de différents services techniques, dont principalement le Laboratoire Départemental de l'Equipement. Toutes les données recueillies ont été systématiquement validées et complétées par des visites de terrain qui ont permis de localiser précisément et de caractériser les évènements recensés.

Au total, 126 mouvements de terrain ont ainsi été inventoriés et, pour la plupart, datés. Cette liste d'évènements, bien que nécessairement non exhaustive, peut être considérée comme représentative des phénomènes de mouvements de terrain susceptibles de se produire dans le bassin.

Dans une deuxième étape, il a été réalisée, à partir des évènements historiques recensés, une typologie des phénomènes. Sept types de phénomènes ont été distingués : chute de blocs, éboulement rocheux, érosion de berge, effondrement, glissement, coulée de boue et glissement/éboulement. Pour chacun de ces types de mouvement ont été identifiés, au vu des observations effectuées, les facteurs de prédisposition et de déclenchement qui déterminent leur occurrence.

En définitive, il a été proposé la délimitation d'une zone test, située au sud de Ganges et couvrant une superficie de 240 km^2. Ce secteur a été choisi pour la forte densité de mouvements de terrain déjà recensés (43 au total, soit un tiers des évènements recensés et ceci sur moins de 10 % de la surface du bassin) et pour le caractère particulièrement exposé du réseau routier, en particulier dans les gorges de la Vis et de l'Hérault.

Il reste désormais à procéder à la cartographie de l'aléa mouvements de terrain sur l'ensemble de cette zone test. Pour cela, des données complémentaires seront recueillies par enquêtes orales auprès des communes et services techniques opérant dans le secteur, et surtout par observation directe, en particulier le long du réseau routier. La carte d'aléa sera établie, en tenant compte des éléments d'expertises ainsi acquises, par combinaison de données géologiques (issues des cartes géologiques à l'échelle 1/50 000, qui seront digitalisées et ré-interprétées), topographiques (provenant de l'analyse du MNT au pas de 25 m) et morphologiques (à partir de l'interprétation de photographies aériennes ou d'images satellites haute résolution). Un examen particulier des aléas le long d'un tronçon de la RD 25, jugée particulièrement exposée, sera aussi réalisé.

BRGM
SERVICE ARN
Unité ARN/RGC
BP 6009 – 45090 Orléans cedex 2 – France –Tél. : 33 (0)2 38 64 34 34